

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Pustaka yang ditinjau dalam penelitian ini adalah penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengukuran *cost of poor quality* (COPQ) dan implementasi *Six Sigma* menggunakan metode DMAIC.

##### 2.1.1. Cost of Poor Quality

COPQ adalah salah satu elemen dari biaya kualitas yang berkaitan dengan kegagalan memproduksi produk sesuai dengan kualitas yang diharapkan oleh konsumen. Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengukuran biaya kualitas terutama COPQ.

Shahid Mahmood dkk (2015) melakukan pengukuran COPQ pada sebuah proyek konstruksi. Biaya kualitas yang diukur adalah biaya kehilangan akibat dari peralatan dan pekerja yang menganggur, biaya kehilangan material akibat pengerjaan kembali, dan kehilangan hari kerja yang mempengaruhi *overhead*. Biaya kualitas ini diuji selama 60 hari kerja di mana dibagi menjadi empat fase dengan masing-masing 15 hari. Hasil menunjukkan perbaikan pada COPQ di setiap fase dengan diikuti pula peningkatan pada produktivitas pekerja. Produktivitas pekerja berhubungan dengan berkurangnya jam mesin menganggur, proses pengerjaan kembali, serta kehilangan hari kerja. Perbaikan pada COPQ juga meningkatkan pula keuntungan yang didapatkan dalam proyek konstruksi ini.

S.N. Teli dkk (2013) melakukan penelitian pada COPQ dalam studi kasus mengenai perusahaan otomotif. Biaya kualitas yang dilihat dalam penelitian ini adalah biaya pengembalian mobil kepada produsen akibat kegagalan sistem yang terjadi. Pengembalian mobil ini menyebabkan penurunan pangsa pasar dari industri otomotif di mana juga mulai adanya perubahan sikap masyarakat untuk menggunakan moda transportasi umum. Biaya kualitas karena kesalahan internal biasanya diakibatkan proses produksi yang tidak mampu membuat produk sesuai dengan harapan konsumen. Biaya kualitas karena kesalahan eksternal biasanya diakibatkan karena material yang dikirim oleh *supplier* tidak sesuai dengan standar. Evaluasi terhadap *supplier* dilakukan menggunakan

PPMeq atau jumlah cacat per total material yang diterima di mana *supplier* yang baik adalah *supplier* yang memiliki nilai PPMeq kecil.

Anupama P. (2013) melakukan penelitian untuk mengurangi *cost of poor quality* pada sebuah perusahaan jasa perbaikan helikopter transportasi. Penelitian dimulai dengan menentukan COPQ mana yang akan dikurangi, yaitu biaya uji coba terbang, biaya kesalahan akibat peringatan palsu kebakaran pada helikopter, dan kegagalan pada pemasangan kipas pendingin. Kegagalan pada pemasangan kipas pendingin menjadi COPQ yang harus diprioritaskan daripada yang lain karena kemungkinan penghematan yang besar jika dapat diperbaiki. COPQ yang dilihat terdiri dari banyak *rework* yang harus dilakukan, biaya tenaga kerja, biaya suku cadang, biaya barang habis pakai, dan biaya uji coba.

Teemu M. dkk (2014) menggunakan analisis COPQ pada sebuah proyek mesin kertas bernama Valmet. Peneliti menggunakan tiga tahap dalam menganalisa COPQ. Tahap pertama adalah *assessment workshop* di mana peneliti menanyakan beberapa pertanyaan pada narasumber untuk mengidentifikasi masalah yang ada dalam proyek tersebut. Hasil dari tahapan ini adalah diagram sebab-akibat dari permasalahan yang ada. Tahap kedua adalah *algorithm workshops* di mana peneliti melakukan validasi mengenai hasil dari tahap sebelumnya, mengklasifikasi masalah yang teridentifikasi menjadi masalah umum di suatu organisasi dan elemen resiko yang terhubung dengan proyek, mengukur COPQ menggunakan *virtual target project*, dan menentukan prioritas rencana respon. Tahap terakhir adalah *action workshop* di mana peneliti menjalankan rencana respon yang sudah diprioritaskan supaya terjadi perbaikan pada COPQ proyek tersebut.

### **2.1.2. Six Sigma DMAIC**

*Six Sigma* DMAIC adalah salah satu metode perbaikan kualitas dari sekian banyak metode lainnya. Metode ini menggunakan lima tahapan, yaitu fase *define, measure, analyze, improve, dan control*. Berikut adalah penelitian-penelitian terdahulu yang menyinggung mengenai *Six Sigma* DMAIC.

E.V. Gijo dkk (2011) melakukan penelitian untuk mengurangi jumlah cacat pada proses gerinda salah satu komponen mobil di perusahaan otomotif di India. Proses pertama yang dilakukan adalah *define* dengan membentuk tim yang terdiri dari *Senior Manager, Planning Manager, Maintenance Manager, Quality Control Senior Engineer*, dan satu operator mesin. Tim ini menentukan *critical to*

*quality* (CTQ) yang ada serta memetakan proses dalam bentuk SIPOC (*supplier-input-process-output-customer*). Proses kedua yang dilakukan adalah *measure* dengan melakukan validasi sistem pengukuran menggunakan *Gage R&R* untuk data atribut serta menentukan kapabilitas proses menggunakan level sigma sesuai dengan DPMO dan membuat *pareto diagram* untuk melihat tipe cacat yang paling sering terjadi. Proses ketiga adalah *analyze* dengan membuat diagram sebab-akibat terjadinya produk cacat pada proses gerinda yang didapat dari hasil diskusi oleh tim lalu menentukan penyebab sebenarnya kegagalan terjadi menggunakan banyak metode seperti ANOVA, Gemba, *Design of Experiments* (DOE), *Gage R&R*, analisis kapabilitas proses, dan *Chi-square test*. Parameter pada proses yang tidak optimum menjadi penyebab utama dari kegagalan terjadi. Proses keempat yang dilakukan adalah *improve* dengan merancang sebuah eksperimen untuk menentukan parameter *setting* yang optimum dengan parameternya adalah *load applied*, *initial load setting*, *coolant flow rate*, *upper wheel rpm*, *lower wheel rpm*, dan *cage rpm*. Hasil eksperimen dianalisa menggunakan metode Taguchi yang menghasilkan nilai S/N ratio. Hasil S/N ratio ini lalu dianalisa menggunakan ANOVA untuk melihat parameter yang signifikan. Proses terakhir adalah *control* dengan menetapkan setiap tiga bulan dilakukan audit internal menggunakan checklist dan *control chart*. Nilai sigma yang awalnya 2,47 naik menjadi 3,76 setelah dilakukan perbaikan kualitas.

Jiju A. dkk (2011) melakukan penelitian pada sebuah perusahaan di India yang membuat bagian injeksi bahan bakar pada mesin diesel. Permasalahan yang muncul adalah produk yang dibuat kadang tidak presisi sehingga membuat pelanggan tidak puas. Metode yang digunakan adalah *Six Sigma DMAIC*. Proses pertama adalah *define* dengan membentuk tim yang terdiri dari *Production Manager*, *Maintenance Manager*, *Production Planning Engineer*, *Production Supervisor*, *QC Inspector*, dan dua operator. Tim ini menentukan tujuan proyek untuk mengurangi produk cacat. Tim membuat diagram SIPOC untuk memetakan proses dalam perusahaan. Proses kedua adalah *measure* dengan validasi sistem pengukuran menggunakan *Gage R&R* untuk data variabel dan melihat kapabilitas proses yang menghasilkan nilai DPMO. Proses ketiga adalah *analyze* dengan proses *brainstorming* yang menghasilkan diagram sebab-akibat lalu setiap penyebab divalidasi menggunakan Gemba dan analisis statistika untuk melihat apakah penyebab tersebut benar-benar menjadi penyebab utama. Proses keempat adalah *improve* dengan menggunakan perancangan

eksperimen untuk menentukan parameter yang optimum menggunakan S/N ratio metode Taguchi dan ANOVA untuk menganalisis S/N ratio. Proses terakhir adalah *control* dengan melakukan standarisasi untuk menjaga kelanjutan dari proses perbaikan ini dengan membuat checklist pada audit internal dan *control chart* untuk melihat kemampuan proses sekarang.

Anupama P. (2013) melakukan penelitian pada sebuah jasa perbaikan untuk moda transportasi helikopter. Permasalahan yang terjadi adalah tingkat COPQ yang tinggi akibat kegagalan proses *assembly* untuk kipas pendingin. Proses pertama adalah *define* dengan menentukan CTQ pada bagian yang diteliti menggunakan CTQ Tree dan memetakan proses di perusahaan menggunakan diagram SIPOC. Proses kedua adalah *measure* dengan menentukan kapabilitas proses yang menghasilkan nilai DPMO,  $C_p$ , dan  $C_{pk}$  dengan indikasi bahwa proses masih belum baik. Proses ketiga adalah *analyze* dengan membuat diagram sebab-akibat dari kegagalan kipas pendingin dan pareto diagram untuk melihat penyebab yang paling sering muncul. Proses keempat adalah *improve* dengan membuat *counter measure matrix* dan *impact/effort matrix* untuk menentukan prioritas solusi yang bisa dilakukan serta membuat *process failure mode effect analysis* (PFMEA) untuk melihat langkah perbaikan yang bisa dilakukan. Selain itu, pada proses ini dilakukan pula analisis terdapat keuntungan biaya yang didapatkan untuk dibandingkan antara biaya selama proyek berlangsung dengan keuntungan yang didapatkan dari perbaikan yang terjadi. Proses terakhir adalah *control* dengan menggunakan *control chart*.

E.V. Gijo dan Johny S. (2010) melakukan penelitian pada proses pengasahan lubang engsel di sebuah perusahaan otomotif. Proses pertama adalah *define* dengan membuat tim terdiri dari *champion*, *Black Belt*, tiga *Green Belts*, dan dua operator. Tim ini memetakan proses dalam bentuk diagram SIPOC dan menetapkan tujuan proyek untuk mengurangi produk cacat dan proses pengerjaan kembali. Proses kedua adalah *measure* dengan menetapkan spesifikasi CTQ untuk lubang engsel antara 9 hingga 9,009 mm, validasi sistem pengukuran menggunakan *Gage R&R*, dan melakukan pengukuran kapabilitas proses. Proses ketiga adalah *analyze* dengan menggunakan diagram sebab-akibat hasil dari diskusi oleh tim dan dilakukan validasi untuk setiap penyebab yang muncul untuk menentukan penyebab mana yang benar-benar menjadi akar masalah. Analisis penyebab ini menggunakan analisis statistika dan GEMBA. Parameter yang diuji menggunakan S/N ratio pada metode Taguchi. Hasil proses

ini adalah daftar penyebab utama dan langkah solusi yang bisa dilakukan. Proses keempat adalah *improve* dengan melihat kemampuan proses sebelum dan sesudah adanya proses perbaikan. Proses terakhir adalah *control* dengan memastikan apakah perbaikan dapat berkelanjutan dengan cara standarisasi hasil perbaikan dan membuat *control chart* untuk melihat adanya data yang *out of control* setelah dilakukan perbaikan.

**Tabel 2.1. Matriks Tinjauan Pustaka**

	CTQ	DMAIC	SIPOC	Analisis Kapabilitas	Pareto Diagram	Diagram Sebab-Akibat	Peta Kendali	COPQ
E.V. Gijo, dkk, 2011	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Anupama P., 2013	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
E. V. Gijo & Johny Scaria, 2010	✓	✓	✓	✓		✓		
Jiju Antony, dkk, 2011		✓		✓		✓	✓	
Teemu Malmi, dkk, 2003								✓
S. N. Teli, dkk, 2013								✓
Shahid M., dkk, 2014								✓

## 2.2. Dasar Teori

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori umum dari kualitas, biaya-biaya yang ada dalam kualitas, metode perbaikan kualitas terutama *Six Sigma* DMAIC, dan alat-alat pengolahan yang digunakan di dalam metode DMAIC.

### 2.2.1. Definisi Kualitas

Kualitas terkadang sering diartikan sebagai kesesuaian produk dalam memenuhi harapan konsumen. Menurut ANSI/ASQC Standard A3-1987 (Besterfield,1990), kualitas adalah keseluruhan dari sifat dan karakteristik sebuah produk atau jasa yang berhubungan dengan kemampuannya untuk memuaskan kebutuhan yang

tertulis maupun tidak tertulis. Feigenbaum (1983) mengatakan kualitas produk dan jasa dapat didefinisikan sebagai total gabungan karakteristik produk dan jasa dari *marketing*, *engineering*, manufaktur, dan *maintenance* yang mana produk dan jasa digunakan akan memenuhi ekspektasi konsumen. Allen (2006) menggambarkan kualitas dengan sebuah persamaan seperti berikut:

$$Q = \frac{P}{E}$$

Di mana, kualitas (Q) dipengaruhi oleh level performansi dari produk (P) terhadap harapan (E) dari konsumen terhadap produk tersebut. Ketidakmampuan produk dalam memenuhi harapan konsumen sehingga produk tersebut dapat dikatakan cacat. Kualitas terdiri dari dua kelompok karakteristik, yaitu variabel dan atribut. Variabel adalah karakteristik yang dapat diukur menggunakan suatu alat ukur dan memiliki satuan ukur. Atribut adalah karakteristik yang tidak dapat diukur menggunakan alat ukur dan tidak memiliki satuan ukur. Karakteristik atribut dibagi menjadi dua, yaitu *nonconformity* dan *nonconforming*. *Nonconformity* adalah kehilangan suatu karakteristik kualitas dari tingkat yang sudah ditentukan sehingga akibatnya cukup membuat produk atau jasa tidak memenuhi spesifikasi yang diinginkan. *Nonconforming* digunakan untuk mendeskripsikan sebuah unit produk atau jasa yang mengandung sekurang-kurangnya satu *nonconformity*.

#### **2.2.2. Biaya Kualitas**

Pyzdek (2002) mengatakan bahwa lebih tepat biaya kualitas disebut sebagai “biaya kualitas yang buruk” karena biaya kualitas berhubungan dengan kerugian yang muncul akibat adanya produk yang tidak sesuai dengan harapan konsumen. Kualitas sebenarnya merupakan suatu penggerak untuk mendapatkan keuntungan lebih tinggi melalui biaya lebih rendah. Biaya kualitas meliputi:

a. **Biaya Pencegahan**

Pyzdek (2002) mengatakan bahwa biaya pencegahan adalah biaya semua aktivitas yang khusus dirancang untuk mencegah kualitas yang buruk dalam produk atau jasa.

b. **Biaya Penilaian**

Pyzdek (2002) mengatakan bahwa biaya penilaian adalah biaya yang berhubungan dengan mengukur, mengevaluasi, atau memeriksa produk atau

jasa untuk memastikan kesesuaian terhadap standar kualitas dan persyaratan kinerja.

c. Biaya Kegagalan Internal

Pyzdek (2002) mengatakan bahwa biaya kegagalan internal adalah biaya kegagalan yang terjadi sebelum pengantaran atau pengiriman produk, atau melengkapi suatu jasa, pada pelanggan.

d. Biaya Kegagalan Eksternal

Pyzdek (2002) mengatakan bahwa biaya kegagalan eksternal adalah biaya kegagalan terjadi setelah pengantaran atau pengiriman produk, dan selama atau setelah melengkapi suatu jasa, pada pelanggan.

Biaya kualitas yang masuk ke dalam *cost of poor quality* adalah biaya kegagalan internal dan biaya kegagalan eksternal. Biaya kegagalan internal menurut Pyzdek (2002) meliputi:

a. Biaya kegagalan desain produk/jasa

- i. Tindakan koreksi desain
- ii. Pengerjaan kembali karena perubahan desain
- iii. Sisa karena perubahan desain

b. Biaya kegagalan pembelian

- i. Biaya disposisi pengembalian bahan yang dibeli
- ii. Biaya penggantian bahan yang dibeli
- iii. Tindakan korektif pemasok
- iv. Pengerjaan kembali dari tolakan pemasok
- v. Kehilangan bahan tidak terkendali

c. Biaya kegagalan operasi

- i. Peninjauan bahan dan biaya tindakan korektif
  1. Biaya disposisi
  2. Biaya perbaikan masalah atau analisis kegagalan (operasi)
  3. Biaya pendukung investigasi
  4. Tindakan korektif operasi
- ii. Pengerjaan kembali operasi dan biaya perbaikan
  1. Pengerjaan kembali
  2. Perbaikan
- iii. Biaya pemeriksaan kembali/pengujian kembali
- iv. Operasi ekstra
- v. Biaya sisa (operasi)

- vi. Produk akhir atau jasa akhir yang diturunkan kelasnya
- vii. Kehilangan tenaga kerja kegagalan internal
- d. Biaya kegagalan internal lainnya

Biaya kegagalan eksternal menurut Pyzdek (2002) meliputi:

- a. Investigasi keluhan/pelanggan atau pengguna jasa
- b. Barang yang dikembalikan
- c. Biaya retrofit
- d. Biaya penarikan kembali
- e. Tuntutan garansi
- f. Biaya utang
- g. Penalti
- h. *Goodwill* pelanggan/pengguna
- i. Kehilangan penjualan
- j. Biaya kegagalan eksternal lainnya

#### **2.2.3. Definisi Six Sigma**

Menurut Pyzdek (2002), *Six Sigma* merupakan suatu metode pengendalian dan peningkatan kualitas yang berfokus pada proses sehingga mencapai 3,4 cacat dalam satu juta kemungkinan di mana mampu meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya kualitas. Menurut Allen (2006), *Six Sigma* merupakan metode pemecahan masalah yang sistematis dan terorganisir untuk meningkatkan sistem yang strategis dan pengembangan produk atau jasa baru yang bergantung pada metode statistik dan metode ilmiah untuk membuat pengurangan pada jumlah produk cacat atau peningkatan pada variabel output kunci. Secara garis besar dapat disimpulkan bahwa *Six Sigma* merupakan metode yang memiliki tujuan untuk mengurangi ratio jumlah produk cacat dengan mengaplikasikan metode statistik dan metode ilmiah didalamnya.

#### **2.2.4. Six Sigma DMAIC**

Metode ini diperkenalkan oleh Motorola sekitar tahun 1980-an. Metode ini terdiri dari lima tahapan, yaitu tahap *define*, tahap *measure*, tahap *analyze*, tahap *improve*, dan tahap *control*.

- a. Tahap *Define*

Fase ini merupakan tahapan untuk mengidentifikasi peluang dari proyek dan untuk verifikasi atau validasi terobosan potensial yang sah. Sebuah proyek harus penting bagi konsumen (*voice of customer*) dan penting bagi bisnis.



Komunikasi antara konsumen, pemimpin perusahaan, dan karyawan harus diupayakan dalam mencapai tujuan dari proyek. Tujuan akhir dari proyek yang ditetapkan merupakan sebuah aktivitas perbaikan. Tahap ini secara garis besar digunakan untuk mengidentifikasi masalah yang menyebabkan berkurangnya kepuasan konsumen lalu mencari potensi penyelesaian masalah yang ada berdasarkan komunikasi antara konsumen, pemimpin perusahaan, dan karyawan yang bertanggung jawab. Pada tahapan ini terdapat banyak alat yang dapat digunakan, berikut alat-alat yang akan digunakan pada tahap ini:

i. *Project Charter*

Menurut Montgomery (2013) *project charter* adalah sebuah dokumen yang berisi sebuah deskripsi proyek dan cakupannya, jadwal proyek, pengukuran yang utama dan sekunder untuk mengukur tingkat kesuksesan proyek berdasarkan tujuan unit bisnis, keuntungan potensial bagi konsumen, keuntungan keuangan potensial bagi organisasi, kejadian penting yang harus dipenuhi selama proyek, anggota tim dan tugasnya, dan segala hal tambahan yang sekiranya dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek. Pyzdek dan Keller (2010) menjelaskan dokumen *project charter* yang menerangkan kenapa, bagaimana, siapa, dan kapan dari proyek, di mana di dalamnya termasuk juga:

1. Perumusan masalah
2. Maksud dan tujuan proyek, termasuk kebutuhan bisnis dimasukkan
3. Cakupan
4. *Deliverables* atau pengukuran objektif kesuksesan yang akan digunakan untuk evaluasi dari efektifitas proyek
5. Grup sponsor dan *stakeholder*
6. Anggota tim
7. Jadwal proyek
8. Hal pendukung lain yang dibutuhkan

Kubiak dan Benbow (2009) menjelaskan *project charter* sebagai dokumen yang menerangkan maksud dari proyek. Setiap *charter* harus berisi beberapa poin berikut menurut Kubiak dan Benbow (2009):

1. Maksud: Menetapkan tujuan
2. Keuntungan: Menerangkan bagaimana perusahaan akan semakin baik ketika proyek telah mencapai tujuannya

3. Cakupan: Menyediakan batasan dari proyek dalam hal biaya, waktu, dan sumber lainnya
4. Hasil: Mendefinisikan kriteria atau pengukuran dari kesuksesan proyek

Contoh dari tabel *project charter* dari Pyzdek dan Keller (2010) dapat dilihat pada gambar 2.1.

<b>Project Name/Title:</b> Order Processing Efficiency <b>Start Date:</b> 9/17/07				
<b>Problem/Project Description:</b> Current capacity in Sales/Customer Support area is constrained, while there are untapped opportunities for increased sales. We should limit, wherever possible, Sales involvement in order processing to free up resource for active lead follow-up and sales generation. In addition, errors and/or gaps in information acquired during Order Processing procedure have a negative impact on time required to generate, and/or receipt rate of, email marketing and software renewals to existing clients. This has an especially large potential impact, since it requires correction by senior sales staff, who might otherwise have more time to engage with clients, develop marketing efforts, or work with product development staff.				
<b>Project Scope (Process, Product, Functional areas):</b> Limited to software products.				
<b>Project Objectives &amp; Goals:</b> To decrease cycle time & costs of specific Sales Department activities: > Order Processing by 50%+ > Marketing to existing clients by 80+ % > Software renewals by 80+ %		<b>Metric</b> Cost/Order Time/campaign Time/update	<b>Baseline</b> \$32 download \$40 shipped 2-4 hours 2-4 hours	<b>Goal</b> \$16 download \$20 shipped 20 minutes 20 minutes
<b>Business Need</b>	<b>Customer Impact:</b> Improved notification rate for renewals & upgrades; reduction in total cycle time as procedure more streamlined.			
	<b>Shareholder Impact:</b> Increased sales potential, immediately on upgrades, but also for future sales with availability of sales staff; Reduced cost for order processing. Reduced costs for marketing & renewal campaigns.			
	<b>Employee Impact:</b> Clearer responsibilities; Less interruption in process flow.			
<b>Project Sponsor:</b> Peter Keene, VP		<b>Stakeholder Group:</b> Sales & Operations		<b>Signature / Date</b>
<b>Team Back Belt:</b> Patrick Killihan				
<b>Team Members:</b> Don Debuski		Customer Support		
Helen Winkleham		Shipping & Packaging		
Anne Sheppard		Accounting		
<b>DEFINE</b> Objective: Done/Complete 9/17/07	<b>MEASURE</b> Objective: Done/Complete 9/17/07	<b>ANALYZE</b> Objective: Done/Complete 9/17/07	<b>IMPROVE</b> Objective: Done/Complete 9/17/07	<b>CONTROL</b> Objective: Done/Complete 9/17/07
> Project Def.	> Process Definition	> Value Stream Analysis	> Implement Process	> Standardize Methods
> Top level Process Def.	> Metric Def.	> Analyze Variation	> Assess Benefits	> Control Plan
> Team Formation	> Estimate Baseline	> Determine Drivers	> Evaluate Failure Mode	> Lessons Learned

**Gambar 2.1. Contoh Tabel Project Charter**

## ii. CTQ Tree Diagram

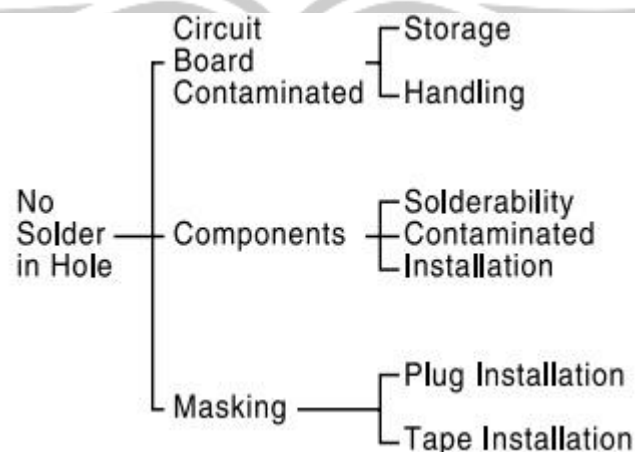
Menurut Kubiak dan Benbow (2009) *Critical-to-Quality* (CTQ) merupakan kebutuhan konsumen akan karakteristik kualitas pada arti secara umumnya namun kurang spesifik dapat diukur. Karakteristik kualitas dibedakan menurut Montgomery (2013) berikut:

1. Fisik: panjang, berat, voltase, viskositas
2. Sensoris: rasa, tampilan, warna
3. Orientasi waktu: *reliability, durability, serviceability*

Karakter sebuah produk diklasifikasikan oleh Evans dan Lindsay (2007) sebagai berikut:

1. Kinerja: Merupakan karakter operasional utama produk.
2. Fitur: Yaitu aksesoris dari suatu produk.
3. Reliabilitas: Kemungkinan suatu produk untuk tetap dapat bekerja setelah jangka waktu tertentu di dalam kondisi tertentu.
4. Kepatuhan: Seberapa banyak karakter fisik serta kinerja suatu produk patuh pada standar yang telah ditentukan sebelumnya.
5. Durabilitas: Jumlah penggunaan suatu produk sebelum produk tersebut kinerjanya mulai menurun atau harus diganti.
6. Tingkat servis: Kecepatan, keramahan, dan kompetensi perbaikan.
7. Estetika: Bagaimana suatu produk terlihat, terasa, terdengar, atau tercium.

Karakteristik kualitas bisa diubah ke dalam bentuk yang dapat diukur jika itu merupakan keputusan dari konsumen secara spesifik. Karakteristik kualitas sebuah produk dapat dijabarkan menggunakan *tree diagram*. Menurut Munro dkk (2015) *tree diagram* membantu untuk menjabarkan sebuah topik umum menjadi beberapa aktivitas yang mempengaruhi topik umum tersebut. Sebuah topik umum dilemparkan kepada tim proyek, lalu tim proyek memberikan beberapa topik spesifik yang berkontribusi terhadap topik umum. Topik spesifik yang sudah tertulis lalu dipecah lagi menjadi topik yang jauh lebih spesifik lagi. Contoh sederhana dari CTQ *Tree Diagram* dari Pyzdek (2002) dapat dilihat pada gambar 2.2.



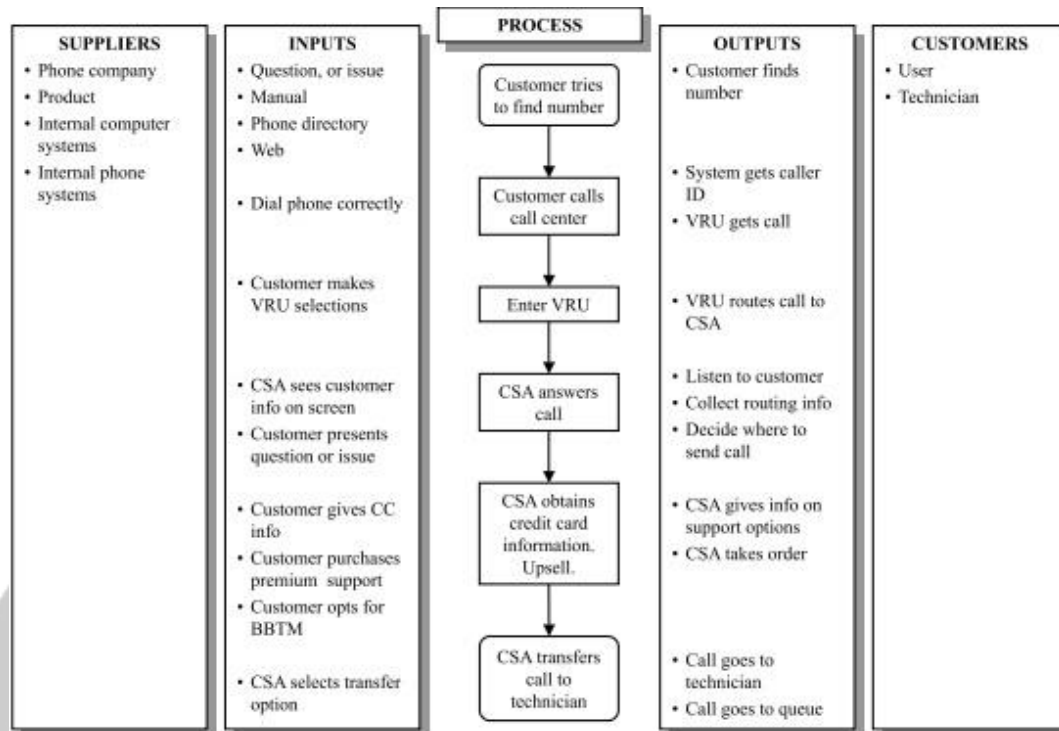
**Gambar 2.2. Contoh *Tree Diagram* Sederhana**

### iii. Diagram SIPOC

Diagram SIPOC terdiri dari *supplier-input-process-output-customer* yang dijelaskan sebagai berikut:

1. *Supplier*: Menurut Montgomery (2013) adalah pihak yang menyediakan informasi, material, atau hal lainnya yang akan dikerjakan dalam proses. Menurut Evans dan Lindsay (2007) yang memasok semua input dan bisa bersifat eksternal maupun internal terhadap perusahaan tersebut.
2. *Input*: Menurut Montgomery (2013) adalah informasi atau material yang tersedia. Menurut Evans dan Lindsay (2007) adalah barang atau jasa yang dibutuhkan oleh suatu proses untuk menghasilkan proses.
3. *Process*: Menurut Montgomery (2013) adalah sebuah rangkaian tahap yang sebenarnya dibutuhkan untuk mengerjakan pekerjaan.
4. *Output*: Menurut Montgomery (2013) adalah produk, jasa, atau informasi yang dikirim ke konsumen. Menurut Evans dan Lindsay (2007) output dapat berupa benda fisik, dokumentasi, informasi elektronik, dan lain-lain.
5. *Customer*: Menurut Montgomery (2013) adalah antara konsumen eksternal atau langkah selanjutnya dalam bisnis. Menurut Evans dan Lindsay (2007) adalah orang, departemen, atau perusahaan yang menerima output, bisa juga bersifat eksternal maupun internal terhadap perusahaan.

Diagram SIPOC memberikan gambaran secara garis besar suatu proses serta membantu menjelaskan siapa pelaku utama dalam proses, bagaimana cara mendapatkan input, siapa yang dilayani dalam proses tersebut, serta bagaimana cara proses tersebut member nilai tambah. Cara terbaik dalam membuat diagram SIPOC adalah mendeskripsikan terlebih dahulu proses yang terjadi setelah itu baru deskripsikan hulu dan hilir dari proses. Hulu adalah input dari proses beserta sumber input tersebut berasal. Hilir adalah output dari proses beserta orang atau perusahaan yang menggunakan output tersebut. Contoh sederhana diagram SIPOC dari Pyzdek (2002) dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3. Contoh SIPOC Sederhana**

b. *Measure*

Fase ini merupakan tahapan untuk mengevaluasi dan mengetahui kondisi awal pada proyek kualitas yang dilakukan. Tahapan awal pada fase ini adalah melakukan pengumpulan data. Data bisa didapat dengan melihat data yang sudah tercatat sebelumnya, namun terkadang data yang sudah tercatat belum mampu menggambarkan kondisi yang akan dievaluasi sehingga dapat dilakukan pengamatan langsung pada periode yang telah ditentukan. Data yang telah dikumpulkan lalu digunakan untuk menentukan landasan dasar kapabilitas proses dengan menggunakan *control chart*. Data variabel bisa menggunakan *c-chart* atau *np-chart*, sedangkan data atribut bisa menggunakan *u-chart* atau *p-chart* dalam mengevaluasi kapabilitas dari proses. Data yang dikumpulkan juga digunakan untuk mengevaluasi kapabilitas dari sistem pengukuran. Alat yang biasa digunakan untuk mengevaluasi kapabilitas sistem pengukuran adalah *Gage R&R* baik untuk data variabel maupun data atribut. Data yang terkumpul bisa ditampilkan dalam berbagai cara seperti histogram, *scatter diagrams*, *pareto charts*, dll. Pada akhir tahapan, tim seharusnya memperbaharui isi dari *project charter* dengan mengevaluasi tujuan dan batasan proyek atau menambah anggota

tim berdasarkan kebutuhan. Pada tahapan ini terdapat banyak alat yang dapat digunakan, berikut alat-alat yang akan digunakan pada tahap ini:

i. *Attribute Measurement Error Analysis*

Data atribut hanya bisa diklasifikasikan dan biasanya tidak dapat diukur. Data atribut hasil inspeksi diklasifikasikan berdasarkan lolos atau tidak lolos, cacat atau tidak cacat, dan baik atau buruk. Prinsip analisis kesalahan pengukuran pada data atribut mirip dengan analisis kesalahan pengukuran pada data variabel, namun langkah analisis data atribut lebih sederhana daripada data variabel. Evaluasi dari sistem pengukuran yang ada tidak akan berarti kecuali alat pengukuran yang digunakan sudah akurat dan tepat. Menurut Evans dan Lindsay (2008), akurasi adalah kedekatan antara nilai yang diamati serta nilai referensi atau standar yang diterima. Menurut Evans dan Lindsay (2007), presisi adalah kedekatan antara nilai atau hasil pengukuran individu yang dipilih secara acak. Saat seorang operator melakukan pengukuran yang sama berulang kali maka hasilnya akan menunjukkan adanya variasi, yang sering disebut dengan *repeatability* dan *reproducibility*. Menurut Evans dan Lindsay (2007), *repeatability* adalah variasi dalam pengukuran berulang kali oleh seorang individu yang menggunakan alat yang sama. Menurut Evans dan Lindsay (2007), *reproducibility* adalah variasi pada alat yang sama ketika individu yang berbeda menggunakannya untuk mengukur suatu bagian yang sama, dan memberi indikasi mengenai berapa andal proses pengukuran tersebut bagi operator serta kondisi yang terkait. Tabel 2.1. merupakan penjelasan prinsip data variabel dan atribut menurut Pyzdek dan Keller (2010).

**Tabel 2.2. Prinsip Data Variabel dan Atribut**

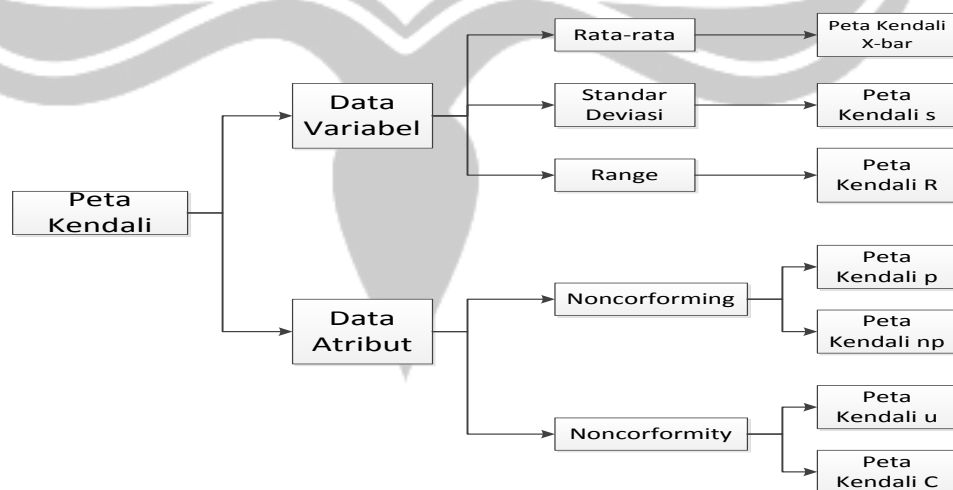
Konsep Pengukuran	Interpretasi untuk Data Atribut	Pengukuran yang Disarankan dan Catatan	
Akurasi	Produk diklasifikasikan dengan benar	$\frac{\text{Jumlah produk yang diklasifikasikan dengan benar}}{\text{Jumlah semua evaluasi yang dilakukan}}$ Butuh pengetahuan akan nilai “yang sebenarnya”	
Bias	Proporsi dari produk yang diberikan klasifikasi yang benar	Rata-rata semua proporsi pada kategori yang diberikan dikurangi proporsi yang benar pada kategori yang diberikan. Dirata-rata untuk semua kategori. Butuh pengetahuan akan nilai “yang sebenarnya”	
Repeatability	Ketika seorang pengecek mengevaluasi produk yang sama berulang kali pada interval waktu yang singkat, ia mengklasifikasikan pada kategori yang sama setiap waktu	Untuk karyawan inspeksi: $\frac{\text{Total jumlah waktu klasifikasi yang sesuai terulang}}{\text{Total jumlah waktu klasifikasi terulang}}$ Keseluruhan: Rata-rata <i>repeatabilities</i>	
Reproducibility	Ketika semua pengecek mengevaluasi produk yang sama, mereka semua mengklasifikasikan pada kategori yang sama	$\frac{\text{Total jumlah waktu klasifikasi untuk semua concur}}{\text{Total jumlah klasifikasi}}$	
Stability	Variabilitas antara R&R atribut hasil pengamatan pada waktu yang berbeda-beda	Metric	Pengukuran <i>stability</i> untuk <i>metric</i>
		Repeatability	Standar deviasi dari <i>repeatabilities</i>
		Reproducibility	Standar deviasi dari <i>reproducibilities</i>
		Akurasi	Standar deviasi dari akurasi
		Bias	Rata-rata bias
Linearity	Ketika pengecek mengevaluasi produk mewakili semua kategori, klasifikasi yang dilakukan konsisten terhadap semua kategori	Jarak dari ketidakakuratan dan bias melalui semua kategori Butuh pengetahuan akan nilai “yang sebenarnya” Catatan: Karena tidak ada pengurutan pada data nominal secara alami, konsep linearitas tidak benar-benar punya “precise analog” untuk data atribut pada skala ini. Bagaimanapun, pengukuran yang disarankan akan menunjukkan interaksi antara pengecek dan kategori yang spesifik.	

Program Minitab menyediakan alat untuk memproses data atribut pada analisis *error* sistem pengukuran yang dikenal dengan nama “*attribute gage R&R*” yang dijelaskan oleh Pyzdek dan Keller (2010). Data yang didapat harus ditata sesuai dengan tabel yang tersedia dalam program tersebut. Minitab akan mengevaluasi *repeatability* dari pengecek dengan menghitung seberapa sering pengecek “setuju dengan dirinya pada setiap percobaan”. Hasil itu lalu ditampilkan pada bagian “*within appraisers*”. Minitab mengevaluasi akurasi dengan melihat seberapa sering dari semua hasil klasifikasi setiap pengecek sesuai dengan standar. Hasil itu lalu ditampilkan pada bagian “*each appraiser vs standard*”. Minitab melihat semua hasil penilaian dari pengecek untuk setiap produk dan menghitung seberapa sering setiap pengecek satu sama lain memiliki hasil klasifikasi yang sama. Hasil itu lalu ditampilkan pada bagian “*between appraisers*”. Minitab melihat pada semua penilaian

pengecek untuk setiap produk dan menghitung seberapa sering pengecek sesuai hasil klasifikasinya dengan standar. Hasil itu lalu ditampilkan pada bagian “*all appraisers vs standard*”.

## ii. Kapabilitas Proses: *u-Chart*

Kapabilitas proses dapat dilihat menggunakan peta kendali, jenis-jenis peta kendali dibedakan berdasarkan jenis data yang diolah antara data variabel atau data atribut. Peta kendali menurut Montgomery (2013) untuk mengolah karakteristik kualitas berjenis data variabel dapat menggunakan peta kendali  $\bar{X}$ -bar, peta kendali s, atau peta kendali R. Jika data rata-rata yang digunakan maka bisa menggunakan peta kendali  $\bar{X}$ -bar, jika data berupa standar deviasi dapat menggunakan peta kendali s, dan jika data dalam bentuk rentang (*range*) dapat menggunakan peta kendali R. Jenis data atribut dapat dibedakan kembali menjadi dua, yaitu *nonconforming* atau *nonconformity*. Jenis data *nonconforming* menurut Montgomery (2013) dapat menggunakan dua jenis peta kendali, yaitu peta kendali p dan peta kendali np. Peta kendali p digunakan jika yang dihitung adalah proporsi cacat, sedangkan peta kendali np digunakan jika yang dihitung adalah jumlah cacat. Jenis data *nonconformity* menurut Montgomery (2013) dapat menggunakan dua jenis peta kendali, yaitu peta kendali u dan peta kendali c. Peta kendali c digunakan jika yang dihitung adalah jumlah kemunculan kecacatan per unit, sedangkan peta kendali u akan dijelaskan lebih lanjut. Pembagian jenis peta kendali digambarkan pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4. Pembagian Peta Kendali**



*u-chart* adalah alat yang dapat digunakan untuk mengevaluasi rata-rata kejadian cacat yang muncul per unit yang diakibatkan oleh proses menurut Pyzdek dan Keller (2010). *u-chart* hampir sama dengan *c-chart*, bedanya *u-chart* dapat digunakan jika ukuran subgroup yang ada tidak konstan. *u-chart* digunakan jika data yang dicatat adalah data *nonconformity*. Menurut Pyzdek dan Keller (2010) *u-chart* digunakan untuk menjawab pertanyaan: "Apakah penyebab khusus dari variasi menyebabkan *central tendency* dari proses untuk memproduksi produk cacat besar atau kecil kemunculannya selama waktu observasi?". *u-chart* berbeda dengan *p-chart* walaupun keduanya digunakan untuk mengevaluasi data atribut, karena *u-chart* menghitung munculnya sebuah kejadian cacat sedangkan *p-chart* menghitung jumlah fisik dari produk yang cacat. *u-chart* terdiri dari tiga garis bantu seperti *chart* lainnya, yaitu *center line*, *lower control limit* (LCL), dan *upper lower limit* (UCL). *Center line* adalah rata-rata jumlah kejadian cacat per unit dan dua batas kendali (UCL dan LCL) adalah rangkaian plus dan minus dari tiga kali standar deviasi. Berikut rumus yang dapat digunakan pada *u-chart*:

$$u = \frac{c}{n} \quad (2.2)$$

$$\bar{u} = \frac{\sum c}{\sum n} \quad (2.3)$$

$$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (2.4)$$

$$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (2.5)$$

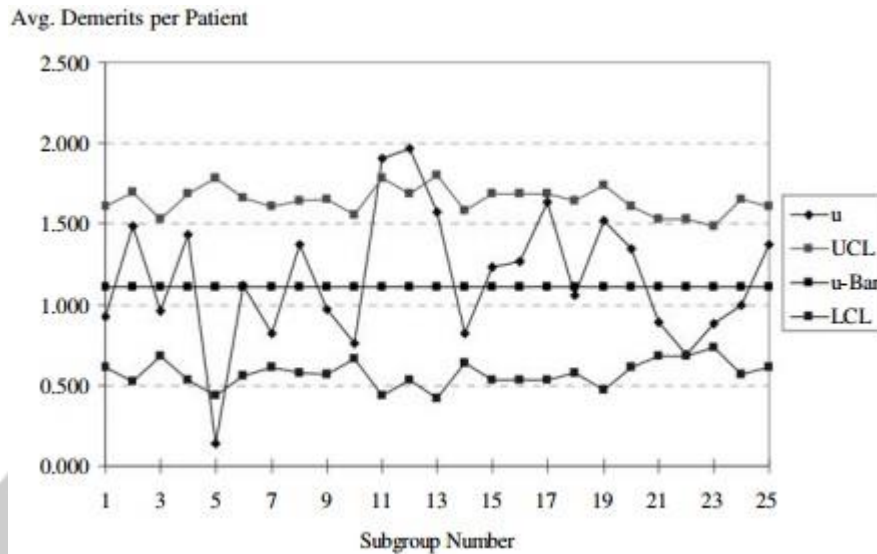
Keterangan: *c* = jumlah *nonconformities* dalam subgroup

*n* = jumlah produk yang diinspeksi dalam subgroup

*u* = jumlah *nonconformities* per jumlah unit dalam subgroup

$\bar{u}$  = rata-rata jumlah *nonconformities* per jumlah unit dalam subgroup

Salah satu contoh sederhana dari *u-chart* dari Allen (2006) dapat dilihat pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5. Contoh u-Chart Sebuah Kasus**

### iii. Pareto Diagram

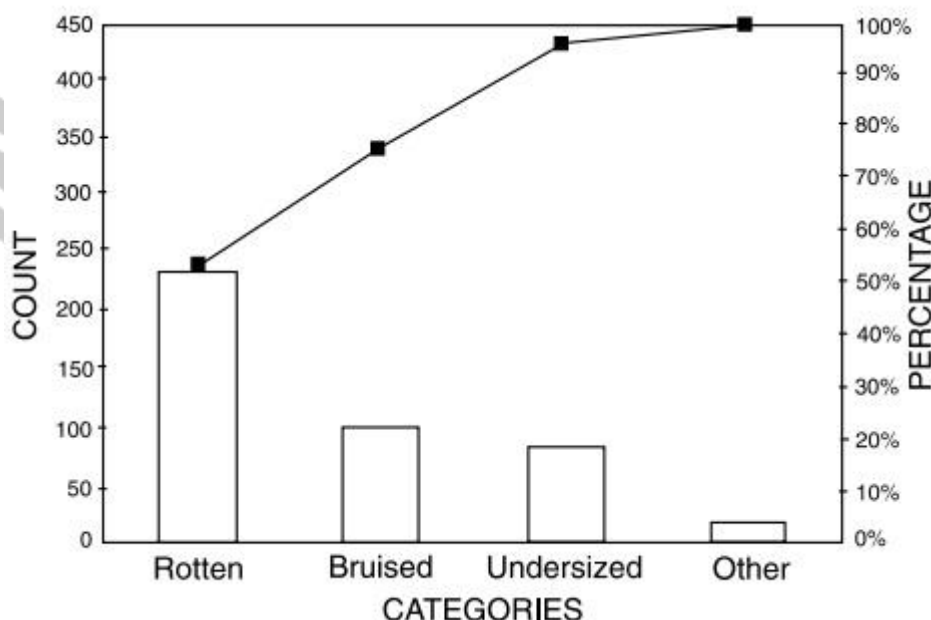
*Pareto diagram* adalah grafik yang memeringkatkan kemungkinan yang ada untuk menentukan kemungkinan potensial mana yang diprioritaskan terlebih dahulu. Pyzdek (2002) menjelaskan bagaimana cara menggambarkan grafik *pareto diagram* dalam tahapan berikut:

- Menentukan klasifikasi untuk grafik. Jika informasi yang diinginkan tidak ada, maka didapatkan dengan membuat *check sheets* dan *log sheets*.
- Pilih interval waktu untuk analisis. Interval harus cukup panjang untuk mewakili kemampuan yang sesuai.
- Menentukan total kejadian tiap kategori, juga menentukan total keseluruhan kejadian. Jika ada beberapa kategori yang jumlahnya sedikit bisa disatukan menjadi kategori yang dinamakan "*other*".
- Hitung persentase tiap kategori dengan membagi jumlah kejadian kategori tertentu dengan jumlah keseluruhan kejadian lalu dikali dengan 100.
- Urutkan kategori-kategori dari total kejadian yang paling sering muncul hingga yang paling jarang muncul.
- Hitung persentase kumulatif dengan menambah persentase tiap kategori dengan kategori setelahnya.
- Bentuk sebuah chart dengan *vertical axis* sebelah kiri diskalakan dari 0 hingga sampai keseluruhan total. Beri sebuah penamaan yang

sesuai pada *axis* tersebut. Skala *vertical axis* sebelah kanan dari 0 hingga 100%, dengan 100% pada sisi kanan menjadi sama tinggi dengan keseluruhan total pada sisi kiri.

- h. Namakan *horizontal axis* dengan nama kategori. Kategori paling kiri harus kategori yang paling sering muncul, sebelah kanannya yang kedua paling sering muncul, dan seterusnya.
- i. Gambar batang yang menggambarkan jumlah setiap kategori. Tinggi batang ditentukan oleh *vertical axis* sebelah kiri.
- j. Gambar garis yang menunjukkan kolom persentase kumulatif dari tabel analisis *Pareto*. Garis persentase kumulatif ditentukan oleh *vertical axis* sebelah kanan.

Tujuan dari diagram *Pareto* adalah untuk mengidentifikasi “beberapa hal yang vital” dari sejumlah “hal yang biasa saja” menurut Kubiak dan Benbow (2009). Hal ini sering digambarkan dengan hukum 80/20. Arti dari hukum tersebut adalah jumlah persentase 80% hasil penjumlahan dari keseluruhan didapatkan hanya dari 20% jenis faktor dari keseluruhan faktor yang ada, sehingga bisa dikatakan 20% jenis faktor tersebut merupakan faktor penting di antara faktor-faktor kurang penting lainnya. Contoh sederhana *Pareto* diagram dari Pyzdek (2002) dapat dilihat pada gambar 2.6.



**Gambar 2.6. Pareto Diagram Kasus Sederhana**

c. *Analyze*

Fase ini merupakan tahapan untuk melihat semua penyebab terjadinya kegagalan atau produk cacat serta melihat langkah perbaikan yang bisa dilakukan untuk menghilangkan penyebab tersebut. Pada tahapan ini dapat digunakan banyak cara untuk melihat penyebab yang ada seperti menggunakan diagram sebab-akibat, matriks sebab-akibat, atau *value-stream mapping*. Penyebab adanya kecacatan atau variabilitas dari hasil proses harus dipisahkan antara *common cause* dan *assignable cause*. *Common cause* adalah sumber adanya variabilitas yang sangat terkait dalam sistem atau proses itu sendiri. *Assignable cause* adalah sumber adanya variabilitas akibat dari sumber eksternal. Usaha menghilangkan *common cause* biasanya merubah proses, sedangkan menghilangkan *assignable cause* biasanya melibatkan eliminasi masalah yang spesifik. Langkah perbaikan yang bisa dilakukan dapat dicari menggunakan FMEA atau bisa menggunakan perancangan eksperimen jika yang akan diperbaiki merupakan tingkat akurasi dari pekerja atau mesin. Alat-alat yang digunakan dalam tahap ini adalah sebagai berikut:

i. Diagram Sebab-Akibat (*Fishbone Diagram*)

Diagram ini pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa yang mengembangkan sebuah metode sederhana untuk menampilkan penyebab dari masalah kualitas. Menurut Pyzdek (2002) diagram sebab-akibat adalah alat yang digunakan untuk menata dan menunjukkan secara grafis semua pengetahuan grup yang terkait dengan masalah tertentu. Berikut tahapan yang dapat dijalankan ketika membuat sebuah diagram sebab-akibat:

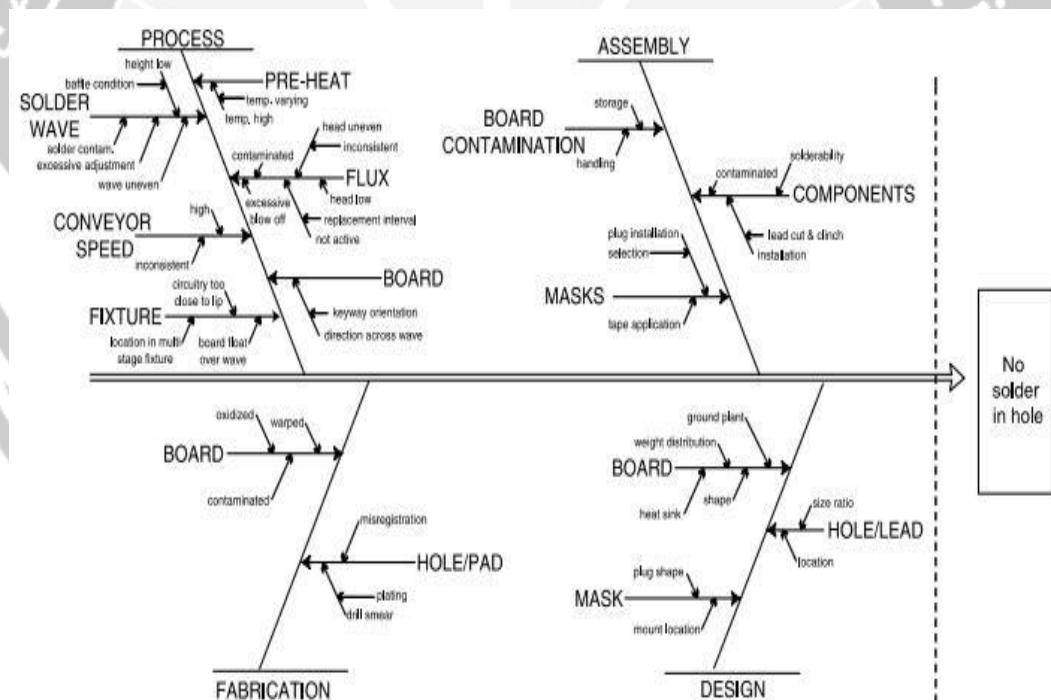
- a. Kembangkan sebuah diagram alir area yang akan diperbaiki
- b. Tetapkan masalah yang akan diselesaikan
- c. Diskusi untuk mencari semua kemungkinan penyebab dari masalah
- d. Atur hasil dari diskusi dalam kategori-kategori
- e. Bangun sebuah diagram sebab-akibat yang secara akurat menampilkan hubungan dari semua data pada setiap kategori

Kategori-kategori yang dapat dikelompokkan berdasarkan elemen-elemen dasar dari sebuah industri, yaitu:

- i. Manusia (orang/operator)
- ii. Mesin (peralatan)

- iii. Metode (prosedur kerja)
- iv. Material
- v. Pengukuran
- vi. Lingkungan
- vii. Modal
- viii. Manajemen

Diagram sebab-akibat yang baik adalah diagram yang memiliki banyak ranting/cabang. Diagram yang memiliki sedikit ranting menunjukkan bahwa pemahaman dari masalah yang ada masih dangkal. Saat membuat diagram sebab-akibat dibutuhkan bantuan dari orang yang lebih memahami masalah terutama orang yang sangat dekat dengan masalah tersebut. Diagram sebab-akibat yang dihasilkan akan menunjukkan tingkatan saat ini pemahaman dari tim terhadap proses yang ada. Salah satu contoh sederhana diagram sebab-akibat dari Pyzdek (2002) dapat dilihat pada gambar 2.7.



**Gambar 2.7. Contoh Fishbone Diagram Kasus Sederhana**

#### ii. *Process Failure and Mode Effect Analysis (PFMEA)*

Menurut Mikulak dkk (2009) FMEA adalah sebuah metode sistematis untuk mengidentifikasi dan mencegah masalah produk atau proses sebelum masalah itu terjadi. Tujuan FMEA berfokus pada mencegah

produk cacat, meningkatkan tingkat keamanan proses, dan meningkatkan kepuasan konsumen. Menurut Pyzdek (2002) FMEA adalah sebuah langkah untuk menjabarkan semua kemungkinan kegagalan, efek kegagalan terhadap sistem, kemungkinan terjadinya, dan probabilitas bahwa kegagalan tidak akan terdeteksi. Menurut Kubiak dan Benbow (2009) FMEA adalah sebuah alat pencegahan dasar yang memfokuskan pengguna atau tim untuk secara sistematis:

- a. Mengidentifikasi dan mengantisipasi kegagalan yang potensial
- b. Mengidentifikasi penyebab potensial dari kegagalan
- c. Memprioritaskan kegagalan
- d. Mengambil tindakan untuk mengurangi, mitigasi, atau menghilangkan kegagalan

Terdapat dua jenis FMEA yang paling sering digunakan, yaitu *Process FMEA* dan *Design FMEA*. *Process FMEA* berfokus pada proses yang terjadi dalam membuat produk, sedangkan *Design FMEA* berfokus pada komponen atau bagian part dari produk. Pada proses pembuatan *Process FMEA* akan sangat membantu jika berfokus pada kelima elemen dari proses yaitu manusia, material, mesin, metode, dan lingkungan. Tujuan dari *Process FMEA* menurut Dyadem (2003) sebagai berikut:

- a. Fokus pada kegagalan yang disebabkan ketidakefisienan proses
- b. Memaksimalkan kualitas keseluruhan proses, reliabilitas, *maintainability*, dan produktivitas saat mengoptimalkan biaya.
- c. Identifikasi, menghilangkan atau mengurangi akibat dari resiko potensial terhadap proses atau produk, serta terhadap *end user* untuk *acceptable level* dengan keadaan teknologi sekarang
- d. Identifikasi karakteristik yang signifikan, yang akan membantu dalam mengembangkan rencana kontrol
- e. Memprioritaskan usaha *manufacturing engineering* dan sumber daya
- f. Menentukan hubungan antara usaha manufaktur, *design engineering*, kualitas dan jasa bersamaan dengan usaha marketing

Resiko dari kegagalan dan pengaruhnya ditentukan oleh tiga faktor, yaitu:

- a. *Severity*, merupakan konsekuensi dari kegagalan ketika itu terjadi
- b. *Occurrence*, merupakan probabilitas atau frekuensi dari kegagalan itu terjadi

- c. *Detection*, probabilitas dari kegagalan dapat diketahui sebelum akibat dari kegagalan tersebut disadari

Ketiga faktor tersebut akan diberikan penilaian berdasarkan skala 1-10 dengan keterangan pada tabel 2.3, 2.4, dan 2.5 menurut Dyadem (2003).

**Tabel 2.3. Skala Severity**

Efek	Rangking	Kriteria
<i>None</i>	1	Mungkin terlihat oleh operator
<i>Very Slight</i>	2	Tidak ada pengaruh untuk proses selanjutnya
<i>Slight</i>	3	Pengguna akan mungkin melihat pengaruhnya tetapi pengaruh sedikit
<i>Minor</i>	4	Proses sekitar dan/atau selanjutnya mungkin ikut terpengaruh
<i>Moderate</i>	5	Dampak akan terlihat sepanjang operasi
<i>Severe</i>	6	Mengganggu proses selanjutnya
<i>High Severity</i>	7	Downtime yang signifikan
<i>Very High Severity</i>	8	Downtime yang signifikan dan dampak finansial yang besar
<i>Extreme Severity</i>	9	Kegagalan menghasilkan efek berbahaya, perhatian pada keamanan dan peraturan terkait
<i>Maximum Severity</i>	10	Kegagalan menghasilkan efek berbahaya, serta membahayakan operator

**Tabel 2.4. Skala Occurrence**

Kejadian	Rangking	Kriteria
<i>Extremely Unlikely</i>	1	Kegagalan sangat tidak mungkin terjadi (0,0001%)
<i>Remote Likelihood</i>	2	Kegagalan sangat jarang terjadi (0,0005%)
<i>Very Low Likelihood</i>	3	Kegagalan jarang terjadi (0,0025%)
<i>Low Likelihood</i>	4	Kegagalan beberapa kali terjadi (0,01%)
<i>Moderately Low Likelihood</i>	5	Kegagalan sesekali terjadi (0,025%)
<i>Medium Likelihood</i>	6	Kegagalan terjadi pada jumlah tingkat sedang (1,25%)
<i>Moderately High Likelihood</i>	7	Kegagalan terjadi pada jumlah di antara tingkat sedang dan tinggi (2,5%)
<i>High Likelihood</i>	8	Kegagalan terjadi pada jumlah tingkat tinggi (5%)
<i>Very High Likelihood</i>	9	Kegagalan terjadi pada jumlah tingkat sangat tinggi (12,5%)
<i>Extremely Likely</i>	10	Kegagalan sangat mungkin terjadi (50%)

**Tabel 2.5. Skala *Detection***

Deteksi	Rangking	Kriteria
<i>Extremely Likely</i>	1	Kontrol sangat mungkin mendeteksi adanya cacat ( $p$ , probabilitas cacat tidak dapat dideteksi, tidak dapat dihitung)
<i>Very High Likelihood</i>	2	Kontrol mempunyai probabilitas yang sangat tinggi untuk mendeteksi cacat ( $p \approx 0$ )
<i>High Likelihood</i>	3	Mempunyai efektivitas tinggi untuk mendeteksi ( $0 < p \leq 0,01$ )
<i>Moderately High Likelihood</i>	4	Mempunyai efektivitas lumayan tinggi untuk mendeteksi ( $0,01 < p \leq 0,05$ )
<i>Medium Likelihood</i>	5	Mempunyai efektivitas sedang untuk mendeteksi ( $0,05 < p \leq 0,20$ )
<i>Moderately Low Likelihood</i>	6	Mempunyai efektivitas lumayan rendah untuk mendeteksi ( $0,20 < p \leq 0,50$ )
<i>Low Likelihood</i>	7	Mempunyai efektivitas rendah untuk mendeteksi ( $0,50 < p \leq 0,70$ )
<i>Very Low Likelihood</i>	8	Mempunyai efektivitas terendah pada setiap kategori ( $0,70 < p \leq 0,90$ )
<i>Remote Likelihood</i>	9	Kontrol mempunyai probabilitas yang sangat rendah untuk mendeteksi adanya cacat ( $0,90 < p \leq 0,95$ )
<i>Extremely Unlikely</i>	10	Kontrol sangat mungkin tidak dapat mendeteksi adanya cacat ( $p \approx 1$ )

Hasil dari skala yang telah diberikan berdasarkan tabel di atas akan digunakan untuk menghitung *Risk Priority Number* (RPN). RPN digunakan untuk mengurutkan kebutuhan untuk tindakan perbaikan dalam mengeliminasi atau mengurangi potensial kegagalan yang ada. RPN dihitung menggunakan rumus perkalian dari skala yang telah diberikan pada bagian *severity* (SEV), *occurrence* (OCC), dan *detection* (DET).

$$RPN = SEV \times OCC \times DET \quad (2.6)$$

Hasil RPN tertinggi harus diprioritaskan, meskipun perhatian juga harus diutamakan pada skala *severity* yang besar (seperti 9 atau 10) daripada melihat hasil perhitungan RPN. Langkah dalam membuat *Process FMEA* menurut Mikulak dkk (2009) sebagai berikut:



- Tinjau proses yang terjadi
- Diskusikan potensi kegagalan yang mungkin terjadi
- Tulis setiap potensi dampak dari setiap jenis kegagalan
- Berikan nilai rangking *severity* pada setiap dampak yang ada
- Berikan nilai rangking *occurrence* pada setiap kegagalan yang ada
- Berikan nilai rangking *detection* untuk setiap kegagalan atau dampak yang ada
- Hitung RPN pada setiap dampak yang ada
- Prioritaskan tindakan pada kegagalan yang mungkin terjadi
- Ambil tindakan untuk mengeliminasi atau mengurangi resiko terbesar dari kegagalan yang ada
- Hitung hasil RPN setelah jenis kegagalan yang diprioritaskan telah berkurang atau dieliminasi

Contoh sederhana FMEA dari Allen (2006) digambarkan pada gambar 2.8.

Failure mode	Potential effect	Severity	Potential cause	Occurrence	Current control	Detection	RPN
Electric shock from outlet	Death	10	Not watched	1	Supervision	2	20
Falling down stairs	Death	9	Escapes gate	1	Mommy wakes	3	27
Rotten milk from old cups	Tummy ache	3	Cup within reach	5	Supervision	7	105
Slipping in bath tub	Bruises	2	No matting	6	Supervision	7	84
Car accident	Death	8	Driving too far	1	Carefulness	1	8
Pinching fingers in door	Loss of finger	6	Stop not in place	2	Door stops	8	96
Watching too much TV	Obesity, less reading	4	Parents tired	7	Effort	6	168

**Gambar 2.8. Contoh FMEA Kasus Sederhana**

d. *Improve*

Fase ini merupakan tahapan untuk melakukan langkah perbaikan yang telah ditetapkan pada fase sebelumnya. Langkah perbaikan yang dilakukan terhadap proses saat ini harus tepat sesuai dengan hasil fase sebelumnya.

Fase ini menuntut tim proyek untuk menjadi kreatif dalam melakukan perbaikan supaya proses saat ini menjadi lebih baik dari sebelumnya. Langkah perbaikan yang sudah dilakukan harus disertakan juga dengan langkah verifikasi menggunakan metode statistik untuk mengetahui apakah perbaikan yang dilakukan sudah tepat dan memberi dampak pada proses. Proses optimisasi atau perbaikan menurut Allen (2006) dibagi menjadi dua macam, yaitu informal optimisasi dan formal optimisasi. Informal optimisasi adalah proses untuk melakukan optimisasi tanpa melakukan pengumpulan data dan pemrosesan data. Formal optimisasi adalah proses untuk melakukan optimisasi dengan membuat model dari permasalahan yang ada dan mencari nilai parameter yang optimum dari model tersebut dengan melakukan pengumpulan dan pemrosesan data. Alat yang akan digunakan dalam fase ini adalah instruksi kerja.

Instruksi kerja atau *standard work* menurut Kubiak dan Benbow (2009) adalah sebuah konsep di mana setiap aktivitas pekerjaan diatur mengutamakan gerak manusia untuk meminimasi *waste*. Setiap aktivitas pekerjaan sebisa mungkin dideskripsikan secara jelas termasuk *cycle time* yang spesifik, *takt time*, urutan pekerjaan, serta jumlah *part* minimum yang dibutuhkan aktivitas tersebut. Instruksi kerja dapat digunakan untuk mencari jalan terbaik untuk memproduksi produksi secara konsisten sesuai esensi dari proses kontrol. Instruksi kerja berkontribusi untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan oleh proses konsisten sehingga meminimalkan variasi. Variasi berkurang karena proses yang sudah diatur secara spesifik sehingga mengurangi ketidaksamaan perlakuan operator. Instruksi kerja memastikan proses yang dilakukan akan berjalan sama untuk setiap waktu sekalipun dilakukan oleh operator yang berbeda.

e. *Control*

Fase ini bertujuan untuk menyelesaikan keseluruhan pekerjaan tim proyek serta menyerahkan langkah perbaikan proses pada perusahaan yang disertakan dengan rencana kontrol proses dan prosedur lainnya yang dibutuhkan untuk menyakinkan bahwa hasil dari proyek akan diterapkan. Penggunaan metode statistik juga dapat digunakan untuk melihat kestabilan dari proses yang sudah diperbaiki. Alat yang akan digunakan pada fase ini adalah *control plan*.

*Control plan* menurut Kubiak dan Benbow (2009) merupakan sebuah dokumen yang mengidentifikasi variabel input atau output yang penting dan aktivitas terkait yang harus dilakukan untuk menjaga kontrol variasi dari proses, produk, atau jasa dalam hal meminimasi deviasi dari standar nilai yang ditetapkan. *Control plan* merupakan dokumen yang bisa selalu diperbaharui, beberapa hal yang diperlukan untuk memperbaharui *control plan* adalah sebagai berikut:

- i. Perubahan proses
- ii. Perubahan spesifikasi
- iii. Perubahan teknologi pengukuran
- iv. Perubahan organisasi
- v. *Turnover* anggota
- vi. Penilaian per periode yang ditetapkan

*Control plan* memegang keuntungan yang dicapai dari sebuah perbaikan proses kegiatan. *Control plan* yang lemah dan kurang memadai adalah salah satu kunci kegagalan dari proyek DMAIC. Organisasi yang memiliki proses atau fungsi dari audit kualitas mungkin ingin mempertimbangkan untuk menambah *control plan* pada daftar alat audit yang digunakan.